

การออกแบบและวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบสองชั้น

Modeling and Performance Analysis of Double Slope Solar Still

เกรียงไกร นาบูดดา* ประพัทธ์ สันติวารากร สมนึก ชีระกุลพิศุทธิ์ และ สมหมาย ปรีเปรม
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
โทร 0-43202845 โทรสาร 0-43202849 *อีเมล kriang_36@hotmail.com

Kriengkrai Nabudda* Prapat Suntivaragorn Somnuk Theerakulpisut and Sommai Priprem
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University,
Khon Kaen, 40002, Thailand
Tel: 0-43202845 Fax: 0-43202849 *E-mail: kriang_36@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้ออกแบบและวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์โดยได้ออกแบบเครื่องกลั่นน้ำเป็นแบบสองชั้น มีขนาดพื้นที่ฐานเท่ากับ 1.5×1 ตารางเมตร โดยมีความสูงของแต่ละชั้นเป็น 20 เซนติเมตร กระจกเอียงด้านเดียวและมีมุมเอียงของกระจกเป็น 14° ชั้นบนได้ออกแบบเป็นลักษณะแบบขั้นบันไดเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของน้ำให้สามารถรับแสงแดดได้มากขึ้น และมีตัวดูดซับความร้อนเพื่อให้ความร้อนแก่น้ำชั้นบนซึ่งจะทำให้อัตราการระเหยเพิ่มขึ้น จากรูปแบบเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ดังกล่าวข้างต้นได้ทำการสร้างเครื่องกลั่นน้ำเพื่อทำการทดลองตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการสมมูลพลังงานเพื่อนำมาช่วยวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิภายในตัวเครื่องกลั่นน้ำ และนำผลลัพธ์ที่ได้มาใช้คำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ยกตัวอย่างผลจากการคำนวณในวันที่ 7 มิถุนายน 2549 พบว่าเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ทำการออกแบบมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 27.43% และได้ปริมาณน้ำกลั่น 3.25 ลิตรต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงที่ทำการวัดค่าของอุณหภูมิในจุดต่างๆ พบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับผลการคำนวณ โดยปริมาณน้ำกลั่นที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 3 ลิตรต่อวัน มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 25.32% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการคำนวณ และจากผลสรุปนี้สามารถนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เขียนนี้ไปประยุกต์ใช้งานจริงต่อไปได้

Abstract

In this paper, mathematical modeling and performance analysis of a double slope solar still are presented. A solar still of this design was constructed for model validation. The solar still has a base area of 1.5×1 m² with two glass cover separated by a distance of 20 centimeters. The glass covers are slope at 14° . The upper layer of the still has a stair-like structure to increase

the heat receiving area and absorbers were placed in this layer to enhance water evaporation. The mathematical model was used to predict temperature distribution, water evaporation rate and efficiency of the solar still. Typical experimental results of the experiment conducted on June 7, 2006 revealed that the average efficiency of the solar still and the water evaporation rate were respectively 25.32% and 3 liters/day. Based on the operating conditions of the experimental date, the model respectively predicted the efficiency and the water evaporation rate to be 27.43% and 3.25 liters/day. Taking into account the complexity of the heat and mass transfers occurring in the solar still, the mathematical model is considered accurate and it will be used for evaluating the performance and improving the design of such a system.

1. บทนำ

น้ำกลั่นเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งซึ่งมีความสำคัญมาก และได้มีการนำมาใช้ประโยชน์ในงานหลายๆ สาขา อาทิเช่น ในห้องปฏิบัติการ วิทยาศาสตร์ การแพทย์ งานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้เป็นน้ำดื่ม ความบริสุทธิ์ของน้ำกลั่นจะขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่ใช้ ในการผลิตน้ำกลั่นจะใช้พลังงานความร้อนจากพลังงานต่างๆ อาทิเช่น ไฟฟ้า แก๊ส พลังน้ำ เชื้อเพลิงแข็ง ใช้น้ำร้อน น้ำมันเชื้อเพลิง พลังงานนิวเคลียร์ และพลังงานแสงอาทิตย์

การกลั่นน้ำด้วยเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เป็นกรรมวิธีหนึ่งที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถกลั่นน้ำที่มีความสกปรกมากๆ ได้ โดยเสียค่าใช้จ่ายไม่มากนัก อีกทั้งยังลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา พลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเพียงพอตลอดปี และเป็นพลังงานที่สะอาดและไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการกลั่นในรูปแบบอื่นๆ

จากการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำกลั่น ทางด้านเคมี ชีวภาพ และกายภาพ ที่ได้จากการกลั่นน้ำจากแหล่งต่างๆ อาทิเช่น จากท่อระบายน้ำของโรงอาหาร จากน้ำประปา และจากน้ำในคลองต่างๆ พบว่าน้ำกลั่นที่ได้จากเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ ได้ตามมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก

การผลิตน้ำกลั่นในอดีตยังไม่มีการพัฒนาเท่าที่ควรโดยเฉพาะเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งบางพื้นที่ในประเทศไทยมีฝนตกชุกตลอดทั้งปีทำให้ยากต่อการผลิตน้ำกลั่นด้วยแสงอาทิตย์ แต่ในทันทันการยังมีความต้องการน้ำกลั่นอยู่ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้พลังงานทดแทนให้มากขึ้นและลดการใช้พลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งปัจจุบันมีราคาแพงมากขึ้นเรื่อยๆ และส่งผลต่อต้นทุนในการผลิตน้ำกลั่นด้วย ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะหาพลังงานมาทดแทนการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่น่าจะเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นพลังงานในการทำน้ำกลั่นในประเทศไทยเพราะมีต้นทุนในการผลิตต่ำ เนื่องจากเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ในปัจจุบันยังมีค่าประสิทธิภาพไม่สูงมากนักผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการปรับปรุงให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น

ในการท้าววิจัยครั้งนี้ได้ออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ และในทางขณะเดียวกันก็ทำการสร้างเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์จริงตามแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้โดยจะทำการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์และปริมาณน้ำกลั่นเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้เขียนขึ้นโดยคาดว่าโครงการนี้จะได้แบบจำลองที่ถูกต้องและมีความแม่นยำสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในโอกาสต่อไป

2. ลักษณะของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ในแบบต่าง ๆ

เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ได้มีการสร้างมานานแล้ว เครื่องแรกได้ถูกออกแบบและสร้างโดย Carlos Wilson ในปี ค.ศ. 1872 ที่ประเทศชิลี สำหรับในประเทศไทยนั้นได้มีการศึกษาครั้งแรกที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย โดย Maung Nay Htun and M.P. Aftab ในปี ค.ศ. 1975 เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ได้มีการออกแบบและสร้างกันมากมาย ลักษณะดังต่อไปนี้

- แบบกระจกเอียงด้านเดียว
- แบบกระจกเอียงสองด้าน
- แบบผิวดิ่ง
- แบบอ่าง
- แบบ Portable Tilt Solar Still
- แบบ Simple Multiple Wick

จากการศึกษาบทความที่ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์พบว่าในต่างประเทศได้ทำการศึกษาศรีเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ในแบบที่เป็นกระจกเอียงด้านเดียวมากที่สุดเนื่องจากให้ประสิทธิภาพมากกว่าในรูปแบบอื่นๆ โดยกระจกทำมุมลาดเอียงระหว่าง 10-20 องศา อีกทั้งยังสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพเพิ่มได้อีก โดยเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่เป็นกระจกเอียงด้าน

เดียวให้ประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยประมาณ 30-45 % ในขณะที่เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบอื่นให้ประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยประมาณ 20-35 % ในอดีตประเทศไทยได้ทำการศึกษาศรีเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นแบบผิวดิ่งเป็นส่วนใหญ่ซึ่งให้ประสิทธิภาพเฉลี่ย 25-35 % โดยสามารถทำการปรับปรุงได้ทั้งในส่วนที่เป็นตัวดูดรังสีและการทำเป็นชั้นบันได ส่วนในต่างประเทศจะเป็นการพัฒนาเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ในแบบที่เป็นกระจกเอียงด้านเดียว โดยการปรับปรุงตัวดูดความร้อน เปลี่ยนความสูงของน้ำ เพิ่มจำนวนชั้น และจากผลการปรับปรุงเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์พบว่าประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุดที่ทำได้คือ 44% สำหรับเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจกเอียงด้านเดียวสามชั้น [1]

3. เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษา

จากการศึกษาบทความวิจัยเกี่ยวกับเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สามารถสรุปปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ดังนี้

- ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์
- ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในเครื่อง
- การสูญเสียความร้อนของตัวเครื่อง
- ความเร็วของลม

จากผลกระทบที่มีต่อประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ดังกล่าวจึงได้นำเอาแนวความคิดการเพิ่มปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในเครื่องมาทำการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ โดยทำการปรับปรุงเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบสองชั้นของ M.A. Hamdan et al [2] ซึ่งมีประสิทธิภาพ 42% โดยชั้นบนทำเป็นแบบชั้นบันไดตามแนวคิดของ ไพฑูรย์ เม่นทอง และคณะ [3] ซึ่งจะทำให้มีประสิทธิภาพมากกว่าแบบถาดเรียบ นอกจากนี้จะทำการเพิ่มตัวดูดซับความร้อนตามแนวคิดของ A.S. Nafay et al [4] ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพมากกว่ากรณีที่ไม่มีการใช้ตัวดูดซับความร้อน จากแนวคิดดังกล่าวข้างต้นได้นำมาสรุปและออกแบบเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบดังรูปที่ 1 ซึ่งมีขนาดพื้นที่ฐานเท่ากับ 1.5×1 ตารางเมตร โดยมีความสูงของแต่ละชั้นเป็น 20 เซนติเมตร กระจกเอียงด้านเดียวและมีมุมเอียงของกระจก 14° ชั้นบนได้ออกแบบเป็นลักษณะแบบชั้นบันได ซึ่งการทำให้ชั้นบนเป็นชั้นบันไดก็เพื่อต้องการเพิ่มพื้นที่ผิวน้ำให้ได้รับพลังงานความร้อนมากขึ้นและเพิ่มตัวดูดซับความร้อนไว้ที่ชั้นบนเพื่อให้ความร้อนแก่น้ำอีกทางหนึ่งด้วย



รูปที่ 1 รูปแบบของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ศึกษาทดลอง

4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการคำนวณ

เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มีหลักการทำงานคือใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาให้ความร้อนแก่น้ำดิบทำให้ระเหยกลายเป็นไอล้วนลอยขึ้นไปควบแน่นที่ผิวกระจกแล้วไหลลงสู่อ่างน้ำเพื่อทำการกักเก็บน้ำที่กลั่นได้ ซึ่งมีทฤษฎีการคำนวณที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

4.1 การคำนวณค่ารังสีของแสงอาทิตย์

ค่ารังสีของแสงอาทิตย์รายชั่วโมง (I) สามารถคำนวณจากผลคูณของค่ารังสีรวมรายวันจากการตรวจวัด (H) กับ อัตราส่วนรังสีรวมรายชั่วโมงต่อรังสีรวมรายวัน (r_t) ดังนี้

$$I = Hr_t \quad (1)$$

เมื่อ

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \left(\frac{2\pi\omega_s}{360} \right) \cos \omega_s} \quad (2)$$

โดยที่ $a = a_1 + a_2 \sin(\omega_s - 60)$ และ $b = b_1 + b_2 \sin(\omega_s - 60)$

เมื่อ ω_s คือ มุมชั่วโมงที่ดวงอาทิตย์ตกดิน (Sunset hour angle) เป็นมุมตกกระทบระหว่างค่ารังสีตรงกับพื้นในแนวระดับ และค่า a_1, a_2, b_1, b_2 คือ ค่าคงที่ที่สถานีต่าง ๆ ของประเทศไทยดังแสดงในตารางที่ 1 [5]

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ a_1, a_2, b_1, b_2 ของสถานีต่าง ๆ ในประเทศไทย

สถานี	a_1	a_2	b_1	b_2
เชียงใหม่	0.514	0.228	0.512	0.033
อุบลราชธานี	0.760	-0.031	0.207	0.238
หาดใหญ่	0.307	-0.124	0.417	0.007

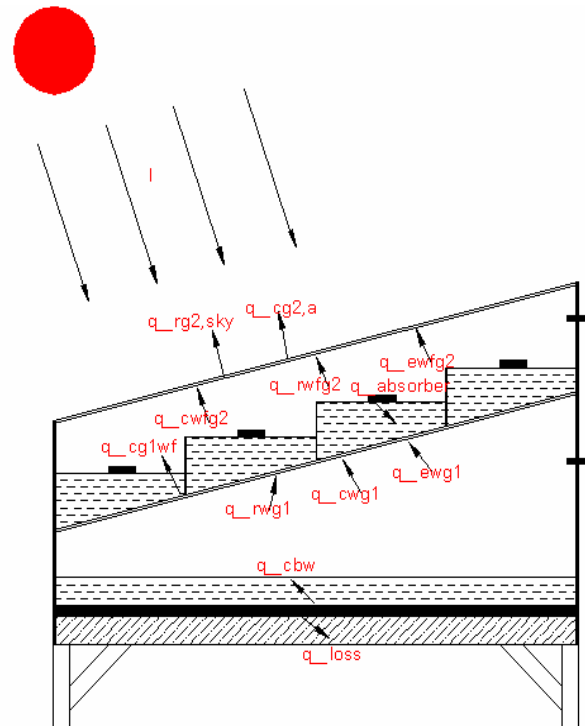
4.2 มุมลาดเอียงของกระจก

การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ จะถูกส่งผ่านไปยังแผ่นกระจกซึ่งอยู่ด้านบนซึ่งอาจเป็นกระจกหรือพลาสติก รังสีดังกล่าวจะถูกดูดด้วยน้ำดิบและอ่าง เมื่อน้ำถูกทำให้ร้อนขึ้น น้ำก็จะระเหยตัวเนื่องจากความดันไอเพิ่มขึ้นและไอน้ำจะระเหยตัวขึ้นไปยังแผ่นปิดด้านบนโดยการพาความร้อนซึ่งไอน้ำจะถูกกลั่นตัวบริเวณด้านล่างของแผ่นปิด ดังนั้นแผ่นปิดจึงต้องมีความลาดเอียงอย่างเพียงพอที่จะทำให้ไอน้ำกลั่นไหลไปยังรางน้ำ โดยปราศจากการหยดของน้ำกลับลงไปยังอ่าง รางน้ำจะต้องมีความลาดเอียงอย่างเหมาะสมไปตามความยาวของเครื่องกลั่น เพื่อให้ให้น้ำที่กลั่นได้ไหลไปยังภาชนะรองรับที่อยู่ส่วนล่างของเครื่องกลั่นต่อไป ซึ่งมีมุมที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 10-20 องศา [6]

4.3 การส่งผ่านพลังงานในเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

การส่งผ่านพลังงานส่วนใหญ่ที่เข้าไปในเครื่องกลั่นน้ำ จะเกิดการสูญเสียขึ้นภายในระบบซึ่งจะมีผลต่ออัตราการกลั่นน้ำให้มีค่าสูงสุด เมื่อการส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ไปยังเครื่องกลั่นน้ำจะมีเพียงรังสีส่วนหนึ่งที่สามารถผ่านเข้าไปยังเครื่องกลั่นน้ำได้ เนื่องจากการสะท้อนของรังสีที่บริเวณผาครอบเครื่องกลั่นน้ำนั่นเอง รังสีที่ผ่านเข้าไปสู่ภายในเครื่องกลั่นน้ำได้จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนสะสมอยู่ในเครื่องกลั่นน้ำ และรังสีส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับไว้ที่ผิวตัวรับรังสี ความร้อนที่

สะสมภายในเครื่องกลั่นน้ำจะเกิดการสูญเสียออกไปในหลาย ๆ ลักษณะด้วยกัน อาทิ ส่วนของพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งถูกดูดกลืนเข้าไปในผาครอบ ส่วนของพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านผาครอบ ส่วนของพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านผาครอบและถูกดูดกลืนโดยน้ำ ส่วนของพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทจากผาครอบออกไปสู่บรรยากาศด้วยการแผ่รังสีความร้อน ส่วนของพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทจากพื้นผิวน้ำไปสู่ผาครอบด้วยการแผ่รังสีความร้อน ส่วนของพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปตามด้านข้างและด้านล่างของเครื่องกลั่นน้ำ ส่วนของพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทจากน้ำไปสู่ผาครอบด้วยการแผ่ไปกับไอที่ระเหย และส่วนของพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปกับน้ำที่กลั่นได้ออกไปสู่ภายนอกตัวเครื่องกลั่นน้ำ เป็นต้น ซึ่งสามารถคำนวณหาพลังงานในส่วนต่างๆ ของเครื่องกลั่นน้ำได้ โดยอาศัยการสมดุลพลังงานในเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ รูปที่ 2 ประกอบ



รูปที่ 2 การถ่ายเทพลังงานความร้อนในเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบสองชั้น

4.3.1 สมดุลสมการพลังงานความร้อนที่ฉนวน

$$m_b C_{pb} \frac{dT_b}{dt} = I(t) A_b - q_{cbw} - q_{loss} \quad (3)$$

4.3.2 สมดุลสมการพลังงานความร้อนที่น้ำชั้นที่ 1

$$m_w C_{pw} \frac{dT_w}{dt} = I(t) A_w + q_{cbw} - q_{rwg1} - q_{cwg1} - q_{ewg1} \quad (4)$$

4.3.3 สมดุลสมการพลังงานความร้อนที่ผิวกระจกชั้นที่ 1

$$m_g C_{pg} \frac{dT_{g1}}{dt} = I(t) A_{g1} + q_{rwg1} + q_{cwg1} + q_{ewg1} - q_{cg1wf} \quad (5)$$

4.3.4 สมดุลสมการพลังงานความร้อนที่น้ำชั้นที่ 2

$$m_{wf} C_{pw} \frac{dT_{wf}}{dt} = I(t) A_{wf} + q_{cglwf} - q_{cwfg2} - q_{rwfg2} - q_{ewfg2} + q_{absorber} \quad (6)$$

4.3.5 สมดุลสมการพลังงานความร้อนที่กระจกชั้นบน

$$m_g C_{pg} \frac{dT_{g2}}{dt} = I(t) A_{g2} + q_{cwfg2} + q_{rwfg2} + q_{ewfg2} - q_{rg2,sky} - q_{cg2,a} \quad (7)$$

4.3.6 อัตราการควบแน่นรวมทั้งสองชั้น

$$\frac{dm_c}{dt} = h_{ewg1} \frac{(T_w - T_{g1})}{h_{fg@T_w}} + h_{ewfg2} \frac{(T_{wf} - T_{g2})}{h_{fg@T_{wf}}} \quad (8)$$

โดยที่ $T_b, T_w, T_{g1}, T_{wf}, T_{g2}$ คืออุณหภูมิที่ ฉนวนชั้นล่าง ผิว น้ำชั้นล่าง ผิวกระจกชั้นล่าง ผิวน้ำชั้นบน ผิวกระจกชั้นบน ตามลำดับ โดยกำหนดค่าเริ่มต้นของอุณหภูมิดังกล่าวเป็น 25 °C และ m_b, m_w, m_g, m_{wf} คือมวลของฉนวนชั้นล่าง น้ำชั้นล่าง กระจก น้ำ ชั้นบน ตามลำดับ m_c คือมวลน้ำกลั่น และตัวแปรที่ทราบค่าต่างๆ มี ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} m_g &= 6kg, C_{pg} = 800J/kg^\circ C, \varepsilon_g = 0.88, \alpha_g = 0.0475, \\ m_{wf} &= 20kg, m_w = 75kg, \rho_g = 0.0735, C_{pw} = 4178J/kg^\circ C, \\ \varepsilon_w &= 0.96, \alpha_w = 0.05, m_b = 10kg, C_{pb} = 473J/kg^\circ C, \\ \alpha_b &= 0.95, h_{bw} = 135W/m^2K, U_b = 14W/m^2K \\ h_{cglwf} &= 25W/m^2K, V_{wind} = 3m/s, k = 0.04W/mK \end{aligned}$$

4.4 การคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำพลังงาน

แสงอาทิตย์

สูตรโดยทั่วไปในการคำนวณหาประสิทธิภาพ (η) เป็นดังนี้ [7]

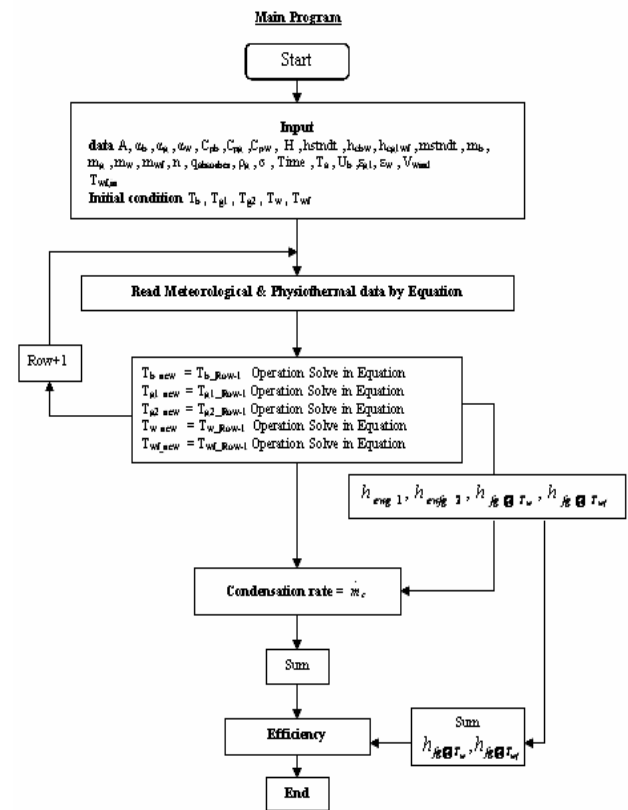
$$\eta = \frac{\sum m_c h_{fg}}{\sum I} \quad (9)$$

เมื่อ m_c คืออัตราการควบแน่น, h_{fg} ค่าความร้อนแฝงของน้ำ และ I คือค่าความเข้มแสงอาทิตย์

5. วิธีการคำนวณ

การคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำพลังงาน แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม EES โดยเริ่มต้นจะต้องกำหนดค่าที่ ต่างๆ ในหัวข้อ 4.3 โดยค่าความเข้มแสงอาทิตย์สามารถคำนวณจาก พลังงาน Solar ซึ่งจะทำให้สามารถคำนวณหาค่าอุณหภูมิ ณ ชั่วโมง ต่างๆ โดยใช้สมการที่ (3)-(8) ได้ต่อจากนั้นก็จะคำนวณหาพลังงาน ความร้อนแฝงเพื่อห้อัตราการควบแน่นเมื่อได้อัตราการควบแน่นก็จะ สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ จากสมการที่ 9 ได้ สำหรับการแก้ปัญหาของสมการเชิงอนุพันธ์ลำดับที่ หนึ่งผู้วิจัยใช้ทฤษฎีของ ออยเลอร์ ในการกระจายฟังก์ชันโดยเปลี่ยน

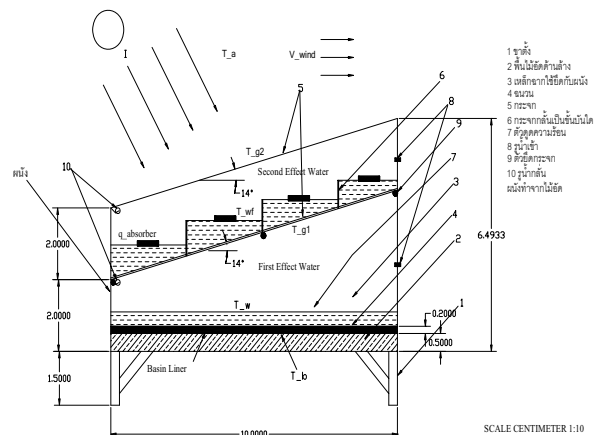
จากสมการเชิงอนุพันธ์ไปอยู่ในรูปของสมการต่างๆ ซึ่งมีขั้นตอนการ คำนวณดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนของการคำนวณหาประสิทธิภาพ

6. วิธีทดลอง

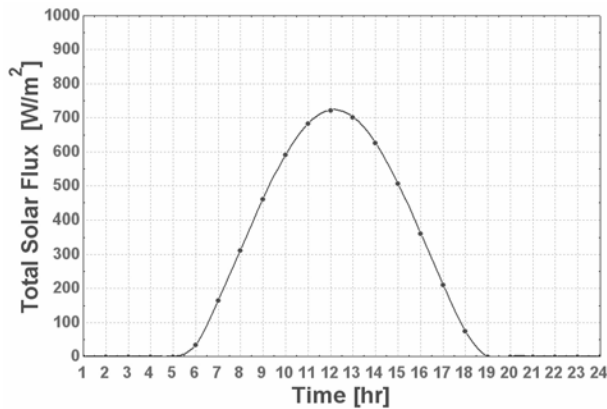
ทำการติดตั้ง Thermo Couple ตามจุดต่างๆ 5 จุดดังรูปที่ 4 เพื่อ ทำการวัดอุณหภูมิและวัดปริมาณน้ำกลั่นทุกๆ ชั่วโมงแล้วนำไป เปรียบเทียบกับผลการคำนวณ โดยวันที่เริ่มทำการทดลองคือวันที่ 7 มิถุนายน 2549 โดยเติมน้ำที่ชั้นล่าง 75 ลิตร ชั้นบน 20 ลิตร ตัวดูดซับ ความร้อนเป็นยางสีดำตัวเครื่องหันหน้าไปทางทิศเหนือมีแดดตลอดทั้ง วันความเร็วลมเฉลี่ย 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิเฉลี่ย 30 °C ค่า ความชื้นสัมพัทธ์ 62%



รูปที่ 4 แสดงการติดตั้ง Thermo Couple ตามจุดต่างๆ

7. ผลการคำนวณ

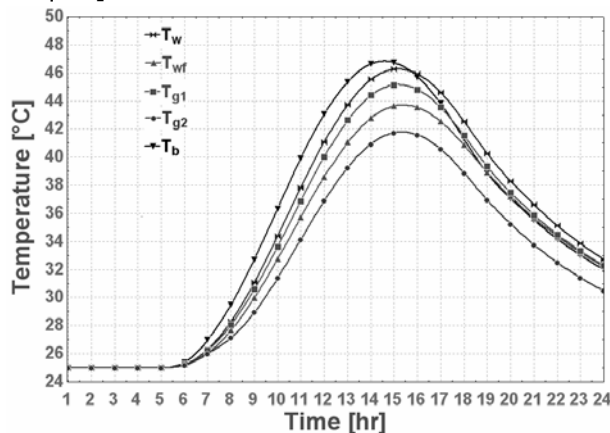
7.1 ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์



รูปที่ 5 กราฟแสดงค่าความเข้มของแสงอาทิตย์

รูปที่ 5 เป็นกราฟแสดงค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ของจังหวัดขอนแก่นในรายชั่วโมงของวันที่ 7 มิถุนายน 2549 ซึ่งเวลาที่ให้ค่าความเข้มแสงมากที่สุดคือเวลา 12.00 น. มีค่าเป็น 722.9 W/m^2 โดยจะเริ่มมีแสงอาทิตย์ในเวลา 6.00 น. และสิ้นสุดที่เวลา 18.00 น. มีแสงอาทิตย์ยาวนาน 13 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงตลอดทั้งวัน 420 W/m^2

7.2 อุณหภูมิที่ผิว ณ ตำแหน่งต่างๆ



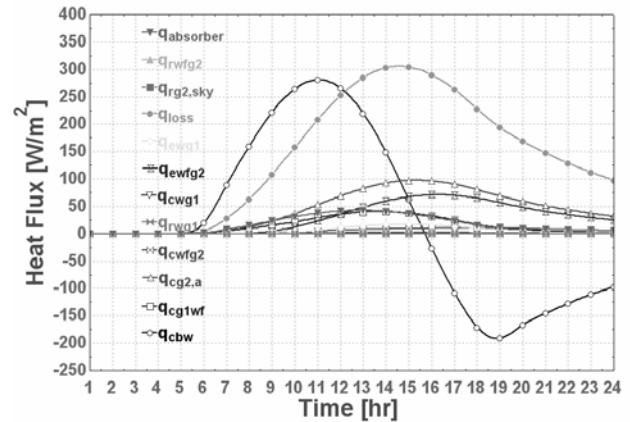
รูปที่ 6 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิของแต่ละจุด

รูปที่ 6 เป็นกราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ภายในเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์จากรูปพบว่าอุณหภูมิระหว่างที่ผิวกระจก (T_{g1}, T_{g2}) กับผิวน้ำ (T_w, T_{wf}) ในชั้นที่สองมีความแตกต่างมากกว่าในชั้นที่หนึ่ง ณ เวลา 15.00 น. อุณหภูมิระหว่างที่ผิวกระจกกับผิวน้ำของทั้งสองชั้นจะมีความแตกต่างกันมากที่สุดคือ ชั้นที่สองมีความแตกต่างเป็น 2°C ส่วนในชั้นที่หนึ่งมีความแตกต่างเป็น 1.5°C ดังนั้นจะเห็นได้ว่าชั้นที่สองมีอัตราการควบแน่นมากกว่าชั้นที่หนึ่ง

7.3 การถ่ายเทพลังงานความร้อน

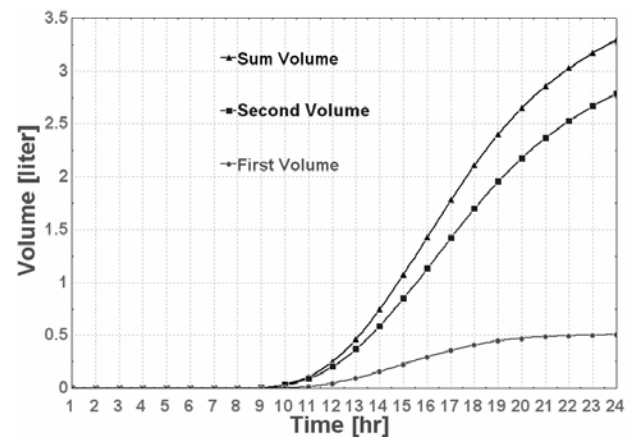
รูปที่ 7 เป็นกราฟแสดงการถ่ายเทพลังงานความร้อนเทียบกับเวลาซึ่งพบว่า การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนใหญ่เป็นความร้อนที่ระบบสูญเสียให้แก่สิ่งแวดล้อมโดยมีค่าความร้อนสูงสุด 300 W/m^2 ในช่วงเวลา 15.00 น. ส่วนค่าความร้อนที่มีการถ่ายเท ณ ส่วนต่างๆ ในระบบมีค่าน้อย

สำหรับค่าพลังงานความร้อนของฉนวนที่มีค่าเป็นลบเนื่องจากอุณหภูมิที่ฉนวนต่ำกว่าอุณหภูมิของน้ำ

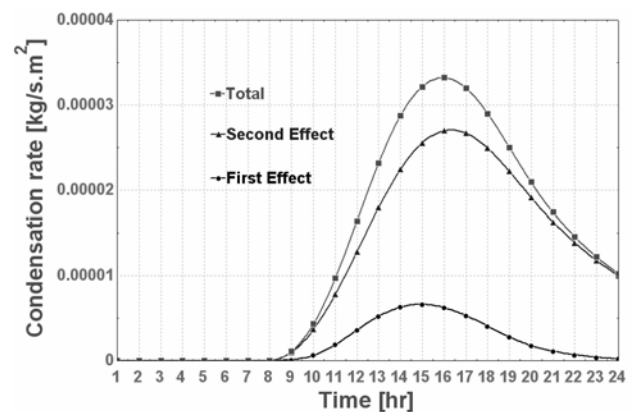


รูปที่ 7 กราฟแสดงค่าการถ่ายเทพลังงานความร้อน

7.4 การระเหยของน้ำ



รูปที่ 8 กราฟแสดงปริมาณน้ำกลั่น



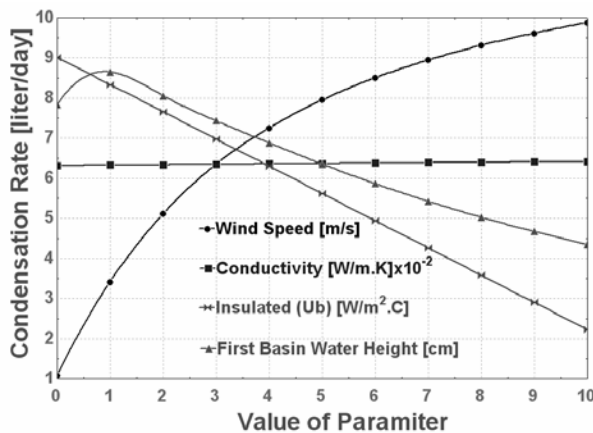
รูปที่ 9 กราฟแสดงอัตราการกลั่นของน้ำกลั่น

รูปที่ 8 แสดงปริมาณน้ำกลั่นที่ได้รับใน 1 วันซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าน้ำกลั่นที่ได้รับจากชั้นที่สองมีค่ามากกว่าชั้นที่หนึ่งโดยน้ำเริ่มมีการกลั่นตัวเมื่อเวลา 10.00 น. หลังจากได้รับแสงอาทิตย์ประมาณ 4 ชั่วโมง ซึ่งใกล้เคียงกับผลลัพธ์ของ [2] โดยมีปริมาณน้ำกลั่นที่ได้ประมาณ 3.25 ลิตรต่อวัน จากรูปที่ 9 แสดงอัตราการควบแน่นของน้ำ

เทียบกับเวลาในช่วงเดียวกันกับรูปที่ 8 ซึ่งพบว่าอัตราการควบแน่นของน้ำกลั่นในชั้นที่สองมากกว่าชั้นที่หนึ่งโดยอัตราการควบแน่นสูงสุดเท่ากับ 0.00003 kg/s.m^2 ณ เวลา 16.00 น. จากกราฟอัตราการควบแน่นในชั้นที่สองมากกว่าชั้นที่หนึ่งเนื่องจากชั้นที่สองมีอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างผิวน้ำกับผิวกระจกมากกว่าชั้นที่หนึ่ง

7.5 ผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ต่อการควบแน่นของน้ำ

รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการควบแน่นกับความเร็วลม ความสูงของน้ำในชั้นที่หนึ่ง ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนของฉนวนและค่าการนำความร้อนของตัวดูดซับ ซึ่งอัตราการควบแน่นเปลี่ยนแปลงตามตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 10 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการควบแน่นเมื่อเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ

- เมื่อมีความเร็วลมเพิ่มขึ้นอัตราการควบแน่นก็จะเพิ่มขึ้นตามและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีความเร็วลมเฉลี่ย 1-5 เมตร/วินาที หลังจากความเร็วลมเฉลี่ยมากกว่า 5 เมตร/วินาที อัตราการควบแน่นมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

- เมื่อเปลี่ยนความสูงของน้ำชั้นที่หนึ่งพบว่าเมื่อปริมาณน้ำเริ่มต้นเพิ่มขึ้นอัตราการควบแน่นจะลดลงเนื่องจากน้ำต้องการพลังงานความร้อนมากกว่าปริมาณน้ำที่น้อยเพื่อที่จะกลายเป็นไอน้ำนั่นเอง

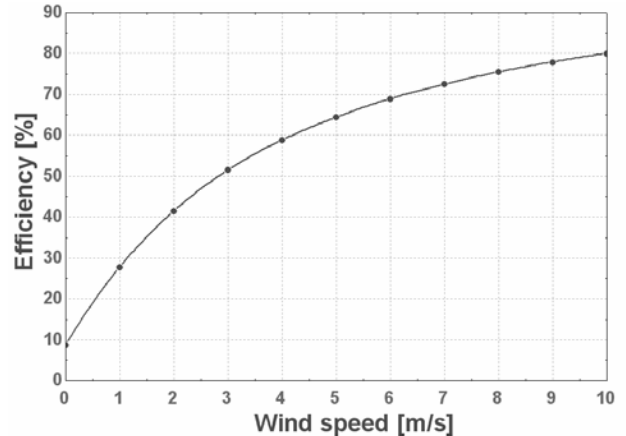
- เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนของฉนวนมีค่าสูงขึ้นอัตราการควบแน่นก็จะลดลงเพราะฉะนั้นการเลือกฉนวนที่ดีควรจะมีค่าความเป็นฉนวนสูงหรือมีค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนต่ำนั่นเอง

- การเปลี่ยนชนิดของตัวดูดซับความร้อนมีผลกระทบต่ออัตราการควบแน่นน้อยมากแต่มีแนวโน้มของอัตราการควบแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อตัวดูดซับความร้อนมีการนำความร้อนเพิ่มขึ้น

7.6 ประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

จังหวัดขอนแก่นมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่เดือนเมษายนมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 468 W/m^2 และมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่ำที่สุดคือเดือนมกราคมมีค่าเท่ากับ 349.5 W/m^2 โดยมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 404.9 W/m^2 โดยในวันที่ทดลองคือวันที่ 7 มิถุนายน 2549 ซึ่งมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย 420 W/m^2 และเมื่อคำนวณหาประสิทธิภาพเฉลี่ยของเครื่องกลั่นน้ำจะได้ 27.43% ณ ความเร็วลมเฉลี่ย 1 เมตรต่อวินาที โดยค่าประสิทธิภาพจะแปรผันไปตามความเร็วลมดังรูปที่ 11 ซึ่งเป็น

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับประสิทธิภาพพบว่าเมื่อความเร็วลมมีค่าเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพก็จะเพิ่มขึ้นโดยที่ความเร็วลมเฉลี่ยระหว่าง 1-5 เมตรต่อวินาที มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพอย่างรวดเร็วส่วนที่ความเร็วลมเฉลี่ยมากกว่า 5 เมตรต่อวินาที มีการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพน้อยมาก



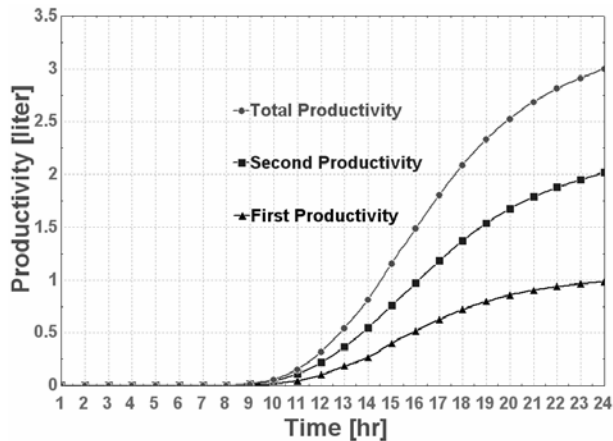
รูปที่ 11 การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพเมื่อความเร็วลมเปลี่ยน

8. ผลการทดลอง

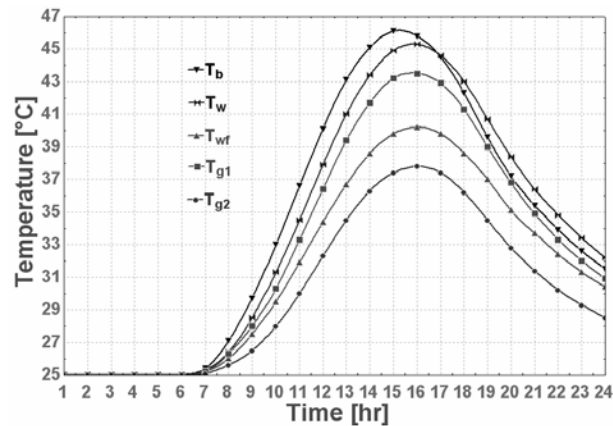
ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์และทำการติดตั้งเพื่อทำการทดลองที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งได้ผลการวัดปริมาณน้ำกลั่นดังรูปที่ 12 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับปริมาณน้ำกลั่นที่ได้โดยมีปริมาณน้ำกลั่นที่ได้ 3.0 ลิตรต่อวัน โดยน้ำกลั่นที่ได้จากชั้นที่สองมีปริมาณมากกว่าชั้นที่หนึ่งซึ่งเป็นผลลัพธ์เดียวกับที่ได้รูปที่ 12 และการคำนวณในรูปที่ 7 ซึ่งมีค่าน้ำกลั่น 3.25 ลิตรต่อวัน และเมื่อนำผลการทดลองมาคำนวณหาประสิทธิภาพเฉลี่ยของเครื่องกลั่นน้ำจะพบว่ามีค่าเท่ากับ 25.32% โดยสาเหตุที่ได้ปริมาณน้ำกลั่นจากการวัดจริงมีค่าน้อยกว่าผลลัพธ์จากการคำนวณก็เนื่องมาจากในสภาพจริงมีการรั่วของอุปกรณ์ทำให้ไอน้ำระเหยออกไปอีกทั้งหยดน้ำบางส่วนหยดลงกลับคืนสู่อ่างเหมือนเดิมเนื่องจากความสกปรกของกระจกและจากอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองมีค่าต่ำกว่าการคำนวณอีกด้วย รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับอุณหภูมิที่วัดได้ในแต่ละจุด ซึ่งพบว่าอุณหภูมิสูงสุดเกิดขึ้น ณ เวลาประมาณ 15.10 น. ที่บริเวณผิวฉนวนด้านล่าง (T_b) มีอุณหภูมิสูงสุด 46°C โดยในแต่ละจุดมีค่าอุณหภูมิใกล้เคียงกับผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 2 เมื่อนำจำนวนน้ำกลั่นกับเวลาที่ได้จากการทดลองมาทำการหาความสัมพันธ์โดยใช้สมการโพลีโนเมียลในการวิเคราะห์หาสมการทางคณิตศาสตร์จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกลั่นกับเวลา เป็นดังต่อไปนี้

$$m_{sum} = 0.12112 - 0.189372t + 0.0909354t^2 - 0.0182172t^3 + 0.00164983t^4 - 0.000064432t^5 + 9.03031 \times 10^{-7}t^6 \quad (10)$$

เมื่อ t คือ เวลา (ชั่วโมง) m_{sum} คือ ปริมาณน้ำกลั่นรวมที่ได้จากการทดลอง (ลิตร) โดยมีค่าความแปรปรวนของความไม่แน่นอน R^2 เท่ากับ 0.9998



รูปที่ 12 ปริมาณน้ำกลั่นที่วัดได้จากผลการทดลอง



รูปที่ 13 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากการวัดกับการคำนวณ

อุณหภูมิ	อุณหภูมิสูงสุด	
	ผลการคำนวณ	ผลการทดลอง
T_b	46.73	45.8
T_w	46.27	45.3
T_{wf}	43.64	40.2
T_{g1}	45.14	43.5
T_{g2}	41.74	37.8

9. สรุปผลการทดลอง

บทความวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาออกแบบสร้างและทำการทดลองเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์โดยนำข้อดีของงานวิจัยที่ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการศึกษาปรับปรุงให้ได้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นโดยรูปแบบที่ให้ความร้อนเป็นแบบสองชั้นกระจกเอียงด้านเดียวเพราะให้ประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงถึง 42% [2] โดยผู้วิจัยได้ออกแบบให้มีรูปร่างหน้าตาของเครื่องกลั่นน้ำมีลักษณะเป็นแบบสองชั้น มีขนาดพื้นที่ฐานเท่ากับ 1.5×1 ตารางเมตร โดยมีความสูงของแต่ละชั้นเป็น 20 เซนติเมตร กระจกเอียงด้านเดียวและมีมุมเอียงของกระจก 14° ชั้นบนได้ออกแบบเป็นลักษณะแบบชั้นบนใดเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของน้ำให้สามารถรับแสงแดดได้มากขึ้น และ

มีตัวดูดซับความร้อนเพื่อให้ความร้อนแก่น้ำชั้นบนซึ่งจะทำให้อัตราการระเหยเพิ่มขึ้น จากผลการคำนวณในวันที่ 7 มิถุนายน 2549 โดยใช้โปรแกรม EES พบว่าที่ความเร็วลมเฉลี่ย 1 เมตรต่อวินาทีได้ประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 27.43% ได้ปริมาณน้ำกลั่น 3.25 ลิตรต่อวัน

เมื่อนำผลการคำนวณไปเทียบกับผลการทดลองจริงพบว่าค่าอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกันส่วนปริมาณน้ำกลั่นที่วัดได้มีปริมาณน้อยกว่าผลการคำนวณโดยปริมาณน้ำกลั่นที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 3 ลิตรต่อวัน เหตุผลมาจากการรั่วของไอน้ำและหยดน้ำหยดกลับคืนสู่อ่างเหมือนเดิม เมื่อคำนวณหาประสิทธิภาพเฉลี่ยของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์จะได้เท่ากับ 25.32% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้เขียนสามารถใช้ได้จริงและนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไปได้ ซึ่งนำแบบจำลองนี้มาคำนวณและเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับผลของ [2] ที่สภาวะเงื่อนไขเดียวกัน ณ. ความเร็วลมเฉลี่ย 3 เมตรต่อวินาที พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เขียนให้ประสิทธิภาพสูงกว่าซึ่งมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 50.56% [8] โดยที่แบบเดิมมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 42% [2]

สัญลักษณ์

English Letters

- A = ค่าการดูดซับ
- C = ค่าความจุความร้อน
- h = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน
- m = น้ำหนัก
- h_{fg} = ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (kJ/kg)

- \dot{m} = อัตราการควบแน่น
- P = ความดัน
- q = ค่าพลังงานความร้อนต่อหน่วยพื้นที่
- T = อุณหภูมิ
- t = เวลา
- V = ความเร็ว
- U = สัมประสิทธิ์รวมของการถ่ายเทความร้อน
- I = ค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมง (MJ/m²-hr)
- H = ค่ารังสีรวมรายวันจากการตรวจวัด (MJ/m²-day)

Greeks

- α = สัมประสิทธิ์การดูดซับ
- ε = ค่าการแผ่ผ่าน
- ρ = ค่าการผ่านได้ของแสงที่กระจก
- σ = Stefan-Boltzmann constant
- ω = มุมชั่วโมง(hour angle) กำหนดเป็น 15 องศาในแต่ละชั่วโมง
- η = ประสิทธิภาพ (%)

Subscripts

- a = สภาวะแวดล้อม
- b = อ่าง
- c = การพาความร้อน
- e = การกลายเป็นไอ

g = กระຈก
 r = การแผ่รังสี
 w = น้ำชั้นที่หนึ่ง
 w_f = น้ำชั้นที่สอง

10. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถานจัดการและอนุรักษ์พลังงานที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยส่งเสริมจนทำให้มีผลงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- (1) E., Rubio, J.L., Fernandez, and M.A., Porta-Gandara, 2004. Modeling thermal asymmetries in double slope solar stills. Renewable energy, May 895-906.
- (2) M.A., Hamdan, A.M., Musa, and B.A., Jubran, 1999. Performance of solar still under Jordanian climate. Energy Conversion & Managment, May 495-503.
- (3) ไพฑูรย์ เม่นทอง, ปรัชญา อารยางค์กูร และ เดชา มีระเสน, 2528. การออกแบบและทดสอบเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์. ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- (4) A.S., Nafey, M., Abdelkader, A., Abdelmotalip, and A.A., Mabrouk, 2002. Solar still productivity enhancement. Energy Conversion and Management, May 937-946.
- (5) อนุตร จำลองกุล, พลังงานหมุนเวียน, กรุงเทพฯ : โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮาส์, 2545. 192 หน้า.
- (6) Y.H., Zurigat, and M.K., Abu-Arabi, 2004. Modeling and performance analysis of a regenerative solar desalination unit. Applied Thermal Engineering, May 1061-1072.
- (7) A., Safwat, Nafey, M., Abdelkader, A., Abdelmotalip, and A.A., Mabrouk, 2002. Enhancement of solar productivity using floating perforated black plate. Energy Conversion and Management, May 937-946.
- (8) เกรียงไกร นามุดตา, ประพัทธ์ สันติวรกร, สมนึก ชีระกุลพิศุทธิ์ และ สมหมาย ปรีเปรม. การปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์. เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, จังหวัดนครราชสีมา, กรกฎาคม 2549.